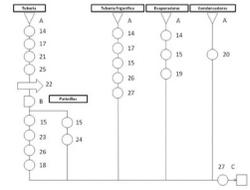


Análisis de factores de riesgo ergonómico con enfoque multi-metodológico: evaluando actividades de trabajadores en construcción de edificios



Ergonomic risk factors analysis with multi-methodological approach: assessing workers' activities in buildings under construction



Vanesa Zorrilla-Muñoz¹, Marc Petz² y María Silveria Agulló-Tomás³

Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica¹, Departamento de Economía² y Departamento Análisis Social e Instituto de Estudios de Género³. Calle Madrid, 126 - 28903 Getafe, Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8764> | Recibido: 12/03/2018 • Inicio Evaluación: 12/04/2018 • Aceptado: 04/07/2018

ABSTRACT

• The aim of this article is to determinate a biomechanical risk analysis method based on a multi-methodological study for high-buildings under construction. This aim bases on the discussion related to the discrepancies about the risk analysis technique applied due to the differences in terms of risk types and levels of risk that different methods provide. The research analyzes the known musculoskeletal disorders, injuries, damages and the biomechanical risk factors of workers in high-buildings under construction. The data collected covers a sample of 150 workers (men) in a high building under construction in Spain over a 12-months period.

The research strategy consisted in the following five stages: Firstly, activities were identified and classified in five working groups. Secondly, the study applies techniques of direct observation to calculate the level of biomechanical risk. Thirdly, the semi-structured interview conveyed approaches to obtain specific data about signs of Work-Related Musculoskeletal Disorders (WRMSDs). Fourthly, the study discusses the occupational registered injuries by analysis of medical diagnoses. Fifthly, the software tools tested provide more details of direct observation techniques as the traditional forms to calculate the levels of biomechanical risk. The results of the multi-methodological research design illustrate a phased strategy may be contrasted between the stages and it allows a more complete evaluation in order to compare the results. The research findings indicate that activities in buildings have a strong need to improve the analysis of designing processes in order to determinate tailored processes and lessening bodily injuries and damages.

• **Keywords:** Ergonomics, methodology, evaluation, Work-related musculoskeletal disorders, activities in buildings.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es determinar un método de análisis de riesgos de tipo biomecánico basado en un estudio multimetodológico en construcción de edificios.

Esta propuesta metodológica parte de las discrepancias sobre las técnicas de análisis de riesgo aplicadas debido a la diferencias de los tipos y niveles de riesgo que los métodos proporcionan. Se analiza, por un lado, los trastornos musculoesqueléticos, la lesiones y los daños y, por otro, los factores de riesgo a partir de la aplicación de diversas técnicas. Los datos recopilados cubren una muestra de 150 trabajadores del sexo masculino en un edificio de gran envergadura en construcción en España durante un período de 12 meses.

La estrategia de investigación consistió en cinco pasos: En primer lugar, fueron identificadas actividades que son clasificadas en cinco grupos de trabajo. En una segunda fase, se aplicaron técnicas de observación directa para calcular el nivel de riesgo biomecánico. En tercer lugar, se utilizó una entrevista semi-estructurada entre la muestra de trabajadores a fin de obtener datos específicos sobre los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. En cuarto lugar, se analizaron lesiones ocupacionales mediante un análisis de diagnósticos médicos. Por último, se aplicó software de tipo ergonómico comparado con los métodos de observación directa.

Los resultados de la investigación multimetodológica muestran que es posible utilizar una estrategia por fases, permitiendo una evaluación más completa y comparada. Además, con el uso de diversas técnicas se pudo corroborar que en las actividades de construcción existe la necesidad de establecer mejoras sobre el análisis de procesos, en particular, a fin de disminuir las lesiones y daños corporales y promover el diseño de actividades a medida.

Palabras clave: Ergonomía, metodología, evaluación, Trastornos musculoesqueléticos laborales, actividades de construcción.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, la construcción es uno de los sectores donde los/as trabajadores/as presentan mayores trastornos musculoesqueléticos (TME) ocupacionales y en el caso de España prevalecen altas tasas de TME de origen laboral [1].

Aunque la evaluación ergonómica de la exposición a factores de riesgo de TME es factible para aminorar la tasa de incidencia de TME ocupacionales, el sector sigue estando poco desarrollado en este sentido debido a la falta de conocimiento entre los profesionales de la construcción acerca de las técnicas aplicadas [2] o la dificultad en el uso de dichos métodos: en el análisis ergonómico se utiliza, generalmente, o bien la monitorización cuantitativa a partir del uso de sensores [3-5], bien el análisis cualitativo mediante el uso de cuestionarios [4, 6] o ciertas escalas de puntuación [4].

La exposición ergonómica también puede ser estimada aplicando una perspectiva multi-método tal y como sugiere el modelo 'Co-Operative for Optimization of industrial production systems regarding Productivity and Ergonomics' (COPE). El modelo COPE es un modelo enfocado a las relaciones entre los factores, cuyo objetivo principal es establecer y describir las vías implicadas en la patogénesis de estos trastornos. COPE analiza y enlaza los

factores determinantes en la exposición ergonómica a través de un concepto multidisciplinar [7]. A través de este modelo de estrategia multi-metodológica es posible minimizar la magnitud de los factores de riesgo en diversas etapas de evaluación [8, 9]. La estrategia del modelo sugerido se basa, por tanto, en un concepto integrador de diversas disciplinas de investigación, tales como la medicina, la ingeniería [10] y la psicología.

2. OBJETIVOS

Los trabajos del sector de la construcción destacan por ser, en general, actividades de naturaleza no repetitiva, a diferencia de la producción industrial, donde se desarrollan actividades de tipo cíclico y/o consisten en ciclos largos y/o irregulares [11]. Sin embargo, este último concepto es generalmente válido para las actividades en edificios en construcción, ya que también destacan por su naturaleza repetitiva más propia de la producción industrial. Por esta razón, los puestos de trabajo en las actividades de la construcción de edificios requieren la aplicación de una estrategia de evaluación basada en la combinación de métodos de análisis ergonómico, tanto para trabajos repetitivos como no repetitivos. La observación de estas actividades durante un período permite cuantificar con cierta precisión la proporción del tiempo del trabajo y la exposición a factores de riesgo específicos [12]. Además, la bibliografía sobre análisis ergonómico recomienda un enfoque de procesos que consiste en varias etapas a fin de profundizar en una estructura metodológica adecuada [8, 9]. Siguiendo esta línea, el objetivo de este artículo es determinar un método de análisis de riesgo biomecánico basado en un enfoque multi-metodológico en los procesos de la construcción de edificios. Este objetivo está relacionado, además, con la propuesta de Carpio de los Pinos *et al.* (2017) acerca de las técnicas de análisis de riesgos que deben ser aplicadas al considerar las diferencias en términos de tipos y niveles de riesgo que los diferentes métodos de análisis incorporan [13].

3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología sobre el enfoque multi-metodológico y se desarrolla la estrategia de investigación y métodos aplicados, proporcionando a su vez información sobre el proceso de recogida de datos.

3.1. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN Y MÉTODOS

La estrategia de investigación se define a través de cinco etapas de investigación (Véase la Tabla 1), configurando una relación positiva entre la concepción metodológica de las diversas fases,

Fase de investigación	Métodos aplicados
Etapas 1. Descripción del proceso	Diagrama de flujo y representación simplificada de procesos
Etapas 2. Métodos de observación directa	REBA [15] RULA [16] (Véase la Tabla 2 para una lista detallada de los métodos)
Etapas 3. Cuestionarios o entrevistas	Cuestionario Nórdico [17] Escala de Borg [18]
Etapas 4. Investigación de lesiones	Técnicas de investigación relacionadas con las lesiones [19]
Etapas 5. Software específico	3DSSPP ERGO / IBV

Tabla 1: Resumen de las fases y métodos de investigación aplicados

así como la identificación, análisis y, evaluación y justificación de los factores de riesgo [14].

La Etapa 1 permite la representación simplificada de los procesos y actividades incluyendo la descripción y esquematización a partir del uso de diagramas de flujo [20, 21]. Ambos métodos facilitan la verificación de los aspectos críticos del proceso [22]. La combinación de ambas herramientas (diagrama de flujo y representación simplificada del proceso) proporcionan una gestión trazable paso a paso. De esta manera, se facilita la comprensión y comprobación, incluso por personal que pueda no estar familiarizado con los procesos y actividades objeto de análisis. Por otra parte, esta fase permite que las actividades puedan ser identificadas y clasificadas a partir de una primera revisión general y previa.

La Etapa 2 aplica un prisma de evaluación ergonómica e incorpora la identificación y evaluación de los factores de riesgo asociados y/o relacionados con las causas que producen enfermedades y/o lesiones [23]. Este tipo de evaluación es la más comúnmente utilizada y recomendada tanto en normas como en la bibliografía científica (ver Tabla 2).

Las Etapas 3 y 4 muestran la identificación de aspectos que pueden ser fácilmente valorados a partir del dolor inicial y las puntuaciones de discapacidad, así como el estado de salud general [47]. Los factores psicosociales y sociales, así como propios del individuo y colectivos han sido excluidos del análisis.

La Etapa 5 proporciona un análisis de los factores de riesgo mediante la aplicación de herramientas de software, aportando la corroboración de los métodos aplicados en la Etapa 2.

El Ergo/IBV es una herramienta de software para análisis y evaluación de los factores de riesgo mediante observación directa, grabación en vídeo, o mediante el uso de técnicas instrumentales de registro de posturas y fuerzas. Este software está estructurado en varios módulos que permiten el análisis de las tareas de elevación y manipulación manual, posturas forzadas y movimientos de la mano.

El Programa estático de fuerza y predicción 3D™ software (3D SSPP) es una herramienta que pronostica las condiciones estáticas de fuerza. El software ofrece una simulación del trabajo que incluye datos posturales, parámetros de fuerza y datos antropométricos. La información es procesada a partir de la base de datos de las directrices de 'The National Institute for Occupational Safety and Health Method (NIOSH)'. Permite el análisis tanto de giros del torso como de curvatura del tronco, así como funciones complejas relacionadas con las posiciones de manos. El programa también considera la carga/peso y permite la descripción de la actividad al detalle.

3.2. RECOGIDA DE DATOS

Los datos parten de una muestra de 150 trabajadores, todos ellos de sexo masculino (debido a la ausencia de trabajadoras en este edificio analizado), de un edificio de gran altura y envergadura en España durante un periodo de 12 meses. El programa de recolección de datos se inspira en un enfoque etnográfico que considera que las posturas/posiciones adoptadas por los participantes son tan importantes como el tiempo dedicado a la observación [48, 49].

Los siguientes métodos son utilizados en la recogida de datos: 1) Observación de trabajos, tareas, procesos y actividades en edificios: la muestra de trabajadores fue obtenida durante el proceso de construcción del edificio de negocios. Las actividades se clasifican en los siguientes grupos:

- Actividades relacionadas con la instalación de conductos, cuyo objetivo final es la construcción de redes de climatización, incluyendo la instalación de soportes de conductos.

Factores de riesgo	Métodos
Posturas forzadas y estáticas	Rapid Entire Body Assessment 'REBA' [15] Rapid Upper Limb Assessment 'RULA' [16] Ovako Working Analysis System 'OWAS' [24] Postural Loading on the Upper Body Assessment 'LUBA' [25]; UNE-EN 1005-4 Procedimiento de Neuropatías por Presión [26] Método de Armstrong [27] Posture, Activity, Tools and Handling 'PATH' [11] Método Swat [28]
Tareas repetitivas	Occupational Repetitive Action 'OCRA' [29] Job Strain Index 'JSI' [30] Modelo del Cubo [31] ISO 11228-3 UNE-EN 1005-5 Assessment of Repetitive Task 'ART' [32] ACGIH TLV 'HAL' [33]
Levantamiento y manipulación manual de cargas	The National Institute for Occupational Safety and Health Method 'NIOSH' [34, 35] Tablas de la Liberty Mutual Insurance Company [36, 37] UNE-EN 1005-2 ISO 11228-1; ISO 11228-2; ISO 11228-3 Guía del INSHT [38] Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung 'REFA' [39] Key Indicator Method 'KIM' [40] Manual Handling Assessment Chart 'MAC tool' [41] Procedimiento de Neuropatías por Presión [26] Guía Arbouw [42]
Empuje y arrastre	Tablas de la Liberty Mutual Insurance Company [36, 37] ISO 11228-2 Key Indicator Method 'KIM' [40] Procedimiento de Neuropatías por Presión [26] Guías Arbouw [42]
Aplicación de fuerza y esfuerzo físico	UNE-EN 1005-3 Posture, Activity, Tools and Handling 'PATH' [11] ACGIH TLV 'HAL' [33] Rodgers Muscle Fatigue Analysis 'MFA' [43]
Posturas estáticas puras	ISO 11226 Modelo WR [44] Método de la Posición de la Mano [45] Posture Targeting [46]

Tabla 2: Métodos de observación directa clasificados según los factores de riesgo físicos-biomecánicos [52]

- b) Actividades relacionadas con la instalación de maquinaria y tubería para la construcción de los sistemas de aire acondicionado, incluyendo los equipos de instalación (evaporadoras y condensadoras). En resumen, estas actividades corresponden a procesos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (en adelante, HVAC).
 - c) Actividades relacionadas con el montaje de redes de protección contra incendios, cuyo objetivo es la construcción de este tipo de instalación.
 - d) Actividades relacionadas con las instalaciones eléctricas, cuyo fin es la instalación de redes de distribución para los sistemas de HVAC. Se han excluido de la investigación las redes de suministro para otros equipos y maquinaria eléctrica ya que forman parte de otros procesos eléctricos durante la fase de construcción del edificio.
 - e) Actividades relacionadas con la mampostería y albañilería para el remate de las instalaciones de HVAC.
- 2) Entrevista semi-estructura elaborada a partir de un cuestionario propio y adaptada de estudios previos; y
 - 3) Recogida de datos sobre lesiones en el grupo de participantes seleccionado.

4. RESULTADOS

Los resultados de los métodos aplicados son descritos conforme a las cinco etapas de investigación desarrolladas en la metodología.

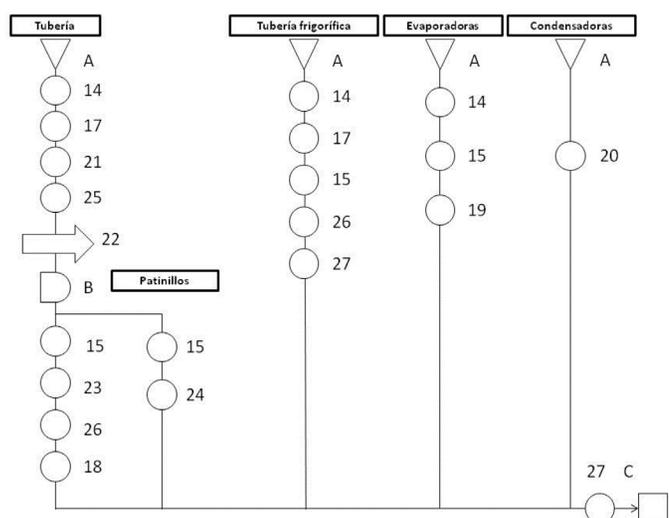


Figura 1: Diagrama de flujo de los procesos de HVAC [52]

4.1. ETAPA 1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La Etapa 1 define las tareas, procesos y actividades a través de diagramas de flujo y simplifica la representación de procesos. La Fig. 1. proporciona un diagrama de flujo relacionado con los procesos de HVAC, que han sido identificados como 'tubería', 'patinillos', 'tuberías frigoríficas', 'evaporadoras', y 'condensadoras'. Se utilizan las siguientes correspondencias en la simbología aplicada: a) 'almacenamiento' (símbolo del triángulo); b) 'tiempo de espera' (símbolo D); c) 'operación' (símbolo con círculo); d) 'traslado' (símbolo con flecha); y e) 'inspección de proceso' (símbolo cuadrado).

En la investigación se definieron en total 38 operaciones dentro de cinco grupos de trabajo (véase Tabla 3). El primer paso consistió en encontrar un equilibrio entre el detalle y la facilidad de uso de la información registrada. Inicialmente, se identificó toda la información relevante detalladamente [50]. Posteriormente, las actividades registradas se relacionaron con los procesos descritos en cada grupo de trabajo: a), b), c), d) y e), tal y como se ha descrito en 3.2.

Los códigos de actividad de la Tabla 3 se refieren a los resultados de la Tabla 4.

4.2. ETAPA 2: RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE OBSERVACIÓN DIRECTA

La evaluación ergonómica de trabajadores en la construcción de este edificio, así como sucede en otros sectores (por ejemplo, agrícola) permite analizar la exposición a factores de riesgo ergonómicos significativos. En esta evaluación, el nivel de riesgo de los factores ergonómicos analizados varía dependiendo del puesto de trabajo, procesos realizados, así como la actividad que en sí misma se está desarrollando [51].

Los resultados muestran como las actividades expuestas a factores con puntuaciones de nivel de riesgo más elevadas se asocian principalmente a actividades de HVAC (sin incluir las relacionadas con conductos), montaje de tuberías de protección contra incendios y montaje de maquinaria e instalación de tuberías. Además, los procesos de albañilería puntuaron más alto en el análisis de posturas estáticas.

Cabe mencionar que ninguno de los procesos y actividades consideradas en el análisis obtuvieron resultados óptimos con mínimo riesgo en las puntuaciones. También, en algunos casos no hubo coincidencia entre puntuaciones en todos los métodos de análisis sugeridos, por lo que se optó por considerar el peor resultado posible. La Tabla 4 representa las actividades (identificadas mediante los códigos definidos en la Tabla 3) con puntuaciones de riesgo intermedio, alto y crítico, ya que estas puntuaciones determinan la necesidad de carácter urgente o inminente del rediseño de procesos y trabajos, la mejora de las condiciones ergonómicas, así como la implementación y uso de equipos de herramientas que permitan aminorar o eliminar los riesgos.

4.3. ETAPA 3: RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE SIGNOS DE TME

La Etapa 3 parte de la aplicación de un guión-entrevista al objeto de identificar signos de TME. En total participaron 150 trabajadores del edificio en construcción y de éstos, 34 trabajadores informaron de afecciones/lesiones o TME de origen laboral que fueron diagnosticados en centros de salud de atención primaria o en centros médicos ocupacionales.

La entrevista propuesta se adaptó del Cuestionario Nórdico (NC) [17] y de la escala de Borg [18], aplicándose un guión con 12 preguntas agrupadas en las secciones siguientes: 1) Confirmación y revisión de actividades; 2) Evaluación de factores de riesgo

Código	Actividad	Grupos de trabajo				
		a	b	c	d	e
(1)	Montaje de conductos de chapa: subir conductos	■	□	□	□	□
(2)	Montaje de conductos de chapa sobre techo	■	□	□	□	□
(3)	Construcción de conducto de fibra de vidrio o similar	■	□	□	□	□
(4)	Transformación piezas conducto en cuclillas	■	□	□	□	□
(5)	Transformación de piezas de conducto de pie	■	□	□	□	□
(6)	Colocación sellante de conducto	■	□	□	□	□
(7)	Colocación de rebordes de juntas	■	□	□	□	□
(8)	Aislamiento conductos de chapa (con fibra de vidrio o similar)	■	□	□	□	□
(9)	Montaje de conductos de fibra de vidrio o similar	■	□	□	□	□
(10)	Colocación de compuertas y rejillas	■	□	□	□	□
(11)	Montaje de conductos en patinillo	■	□	□	□	□
(12)	Colocación de toberas y accesorios	■	□	□	□	□
(13)	Traslado de conductos	■	□	□	□	□
(14)	Medición y marcado en techos	■	■	■	■	■
(15)	Atornillado en techos, paredes y colocación de soportes	■	■	■	■	■
(16)	Atornillado en suelos	■	■	■	■	■
(17)	Corte con amoladora en suelo	■	■	■	■	■
(18)	Corte con amoladora en techo	■	■	■	■	■
(19)	Colocación de evaporadoras	□	■	□	□	□
(20)	Colocación y movimiento de condensadoras	□	■	□	□	□
(21)	Corte de tubería en mesa de trabajo	□	■	■	□	□
(22)	Traslado de tubería	□	■	■	□	□
(23)	Colocación de tuberías en techo	□	■	■	□	□
(24)	Colocación de tuberías en patinillo	□	■	■	□	□
(25)	Soldadura en mesa de trabajo	□	■	■	□	□
(26)	Soldadura en techo	□	■	■	□	□
(27)	Soldadura en paredes	□	■	■	□	□
(28)	Canalización eléctrica	□	□	□	■	□
(29)	Pasar cable	□	□	□	■	□
(30)	Embornar cable	□	□	□	■	□
(31)	Conexión eléctrico de máquinas	□	□	□	■	□
(32)	Recibido y acabado de compuertas	□	□	□	□	■
(33)	Raseado de paredes	□	□	□	□	■
(34)	Colocación de toldos para la recogida de aguas	□	□	□	□	■
(35)	Preparación de muretes de ladrillo	□	□	□	□	■
(36)	Transporte de cargas	□	□	□	□	■
(37)	Montaje de canalón de PVC	□	□	□	□	■
(38)	Corte con máquina de cinta	□	□	□	□	■

Tabla 3: Relación entre actividades y grupos de trabajo [52]

ergonómicos físicos (biomecánicos); y 3) Información de TME ocupacionales relacionados con las actividades ocupacionales desarrolladas.

Para las variables seleccionadas se confirmó la fiabilidad, validez y consistencia interna. La consistencia interna de cada escala se evaluó mediante el uso de Alfa de Cronbach. La fiabilidad se efectuó partiendo de una entrevista piloto a 5 trabajadores.

Factores de riesgo	Actividades registradas (Por código de actividad, comparar Tabla 3)	
	Riesgo intermedio	Crítico o alto riesgo
Posturas forzadas y estáticas	(1), (3), (5), (6), (7), (8), (9), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (21), (25), (26), (37), (38)	(2), (4), (10), (11), (19), (20), (22), (23), (24), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35), (36)
Tareas repetitivas		(2), (8), (14), (15), (19), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (35), (38)
Elevación y manipulación manual		(4), (5), (6), (7), (8), (10), (11), (13), (19), (20), (22), (23), (24), (36)
Empuje y arrastre		(20)
Aplicación de fuerza y esfuerzo físico	(2), (4), (5), (9), (14), (15), (16), (17), (18), (21), (28), (30), (31), (32), (34)	(10), (11), (13), (19), (20), (22), (23), (24), (27), (29), (33), (35), (36)
Posturas estáticas puras	(15), (22), (24), (36)	(11), (16), (17), (18), (27)

Tabla 4: Resultados de la evaluación de factores de riesgo con riesgo intermedio, crítico o alto [52]

La primera sección de la entrevista permitió detallar el número y porcentaje de participantes que informaron sobre la presencia de TME, lo cual fue clasificado por grupo de trabajo y edad del entrevistado (ver Figura 2).

La segunda sección probó y evaluó los factores de riesgo ergonómicos físicos (biomecánicos) (véase Tabla 2) y otros, tales como las condiciones organizacionales y el ritmo de trabajo. Los trabajadores identificaron, en esta parte de la entrevista, los factores de riesgo más influyentes que pudieran condicionar el desarrollo de TME debidos a la realización de tareas repetitivas, posturas forzadas y estáticas, y esfuerzos intensos (aplicación de fuerza y esfuerzo físico).

En la tercera sección se preguntó por la localización de dolor y la prevalencia de síntomas musculoesqueléticos durante los últimos 24 meses (ver Figura 3). El gráfico muestra las zonas corporales más afectadas que son: parte baja de la espalda (columna lumbar), región del cuello, hombros y parte alta de la espalda (columna dorsal).

4.4. ETAPA 4: RESULTADOS DE LAS LESIONES REGISTRADAS

En total se identificaron 15 casos relacionados con TME ocupacionales, de los cuales 9 fueron descritos como trastornos o situaciones de larga duración (>2 años) y los otros 6 casos se trataron de lesiones ocurridas dentro del período de 24 meses. Los datos fueron obtenidos a partir de la muestra de trabajadores de la investigación. La Figura 4 resume los registros de TME globales obtenidos durante el análisis de lesiones registradas. Se documentaron aquellas que fueron causadas por los factores de riesgo mencionados en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos en la entrevista, así como el registro de lesiones ocupacionales coinciden en que la parte baja de la espalda, el cuello y los hombros son las partes corporales más afectadas por TME en los trabajadores.

4.5. ETAPA 5: RESULTADOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE SOFTWARE ESPECÍFICAS

Las herramientas de software proporcionaron resultados detallados sobre los métodos aplicados, así como sobre los métodos

aplicados de observación directa. De esta manera, se pudieron refinar los resultados calculados en la Etapa 2.

Entre los resultados obtenidos, el uso de ERGO/IBV confirmó excepciones, como sucede en la actividad 22 en comparación con los resultados de la Etapa 2: a través de los métodos de observación directa se obtuvo una clasificación de riesgo intermedio al aplicar el método LUBA (en posturas forzadas y estáticas) y en el método de la Posición de la Mano (posturas estáticas puras). Sin embargo, ERGO/IBV mostró resultados de riesgo de nivel alto/crítico.

Además, los resultados de 3DSSPP proporcionaron un valor de riesgo intermedio para las actividades 10 (con 27 kg), 23 y 24 en lugar del valor de riesgo alto/crítico registrado en la Etapa 2.

5. DISCUSIÓN

Durante esta investigación se encontraron diversos inconvenientes relacionados con la aplicación de métodos de observación

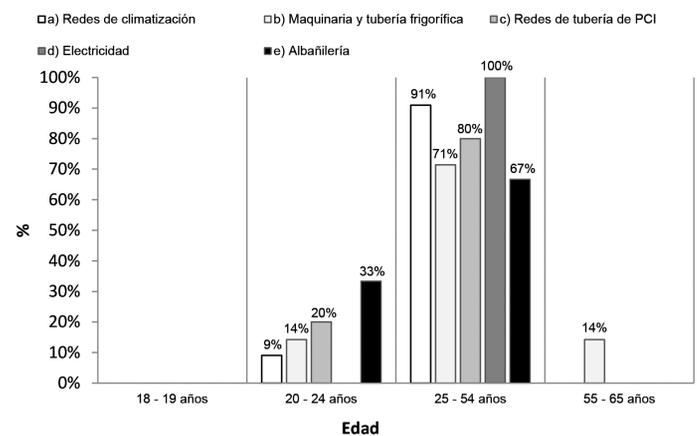


Fig. 2: Edad de los grupos de población y de trabajo (q = 34, hombres) [52]

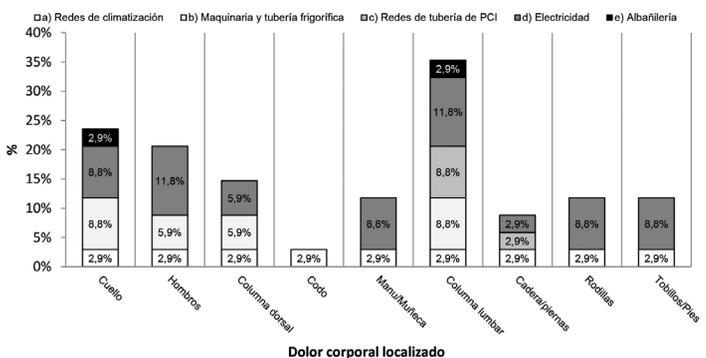


Figura 3: Preguntas relacionadas con localización del dolor y prevalencia de TME en los últimos 24 meses (q = 34) [52]

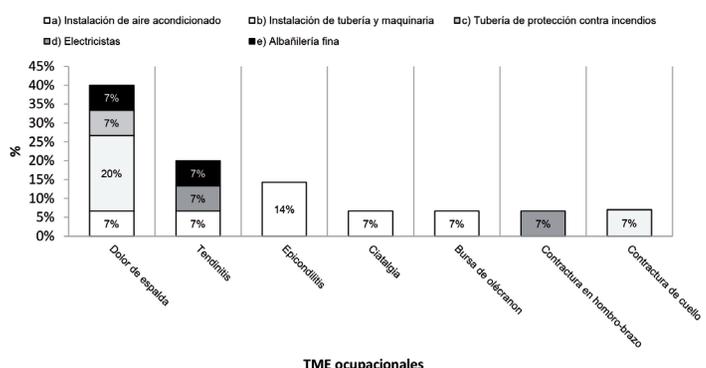


Figura 4: TME ocupacionales relacionadas con factores de riesgo biomecánicos [52]

directa, así como en la recopilación de datos a través del registro filmográfico y fotográfico. En primer lugar, los métodos no indican la cantidad de registros de datos necesarios para realizar un análisis adecuado, por lo que se parte de la idea de que cuantos más datos de imágenes y videos se recopilan, más sencillo y mejor resulta el análisis. En contraposición, una recogida de muestras excesiva de imágenes y videos puede llegar a intimidar a las personas trabajadoras, reproduciendo efectos contrarios a lo deseado (Efecto Hawthorne). Otra limitación de los métodos de observación directa es que el propio análisis de pies no es posible. Por lo tanto, otro tipo de metodología complementaria, tal como el uso de electromiografía (EMG) o cuestionarios de TME enfocados en los pies, podrían incluirse cuando fuese aplicable.

La transferencia de conocimiento a partir de modelos de interacción apuesta por el compromiso sostenido entre quienes aportan los conocimientos y los posibles usuarios de dichos conocimientos. Por ello, la valoración por parte de líderes/as y expertos/as en innovación sería un recurso que permitiría expandir las ideas de este estudio. Una de estas ideas consiste, precisamente, en la propia innovación en el sector. La credibilidad aumentaría si las empresas de construcción decidieran invertir en la transferencia de innovación. Estas entidades podrían actuar como difusores (líderes/as y expertos/as de opinión) en colectivos más grandes, incluso en otros sectores, donde se pudieran adoptar innovaciones similares. De esta manera, se facilitaría la prevención de los TME y el logro de una cultura preventiva a partir de la reducción del dolor y la evaluación de problemas de salud. También cabe mencionar que la opción de intentar mitigar los riesgos ergonómicos debería considerarse especialmente a través de medidas organizativas y de diseño preventivas, con enfoque psico-social centrado en la persona, que considere aspectos individuales y grupales (en aspectos tales como la antropometría, la edad, el género e incluso la genética).

Además, otras investigaciones futuras podrían explorar y utilizar técnicas de transferencia de conocimientos para ayudar a la identificación y difusión de acciones innovadoras que promuevan la reducción del riesgo ergonómico y de desarrollo de TME.

Asimismo, la obtención de discursos mediante técnicas cualitativas podría aportar la percepción y actitudes de los trabajadores del edificio sobre sus propios TME.

6. CONCLUSIONES

El enfoque multi-metodológico recomienda una línea comparativa en la investigación. Un análisis mediante la aplicación de etapas concretas seguidas contrasta y permite un estudio exhaustivo y objetivo de resultados. Por otra parte, en esta investigación se demuestra que la estrategia multi-metodológica facilita el establecimiento de normas de diseño del lugar de trabajo considerando dos características esenciales de los procesos analizados en este estudio: las actividades repetitivas (propias de procesos industriales) y las actividades no repetitivas (propias de procesos de construcción).

El prisma multi-metodológico contribuye al objetivo principal de la ergonomía [10] que es la investigación y la mejora de las interacciones entre las personas trabajadoras de los edificios en construcción y el entorno que les rodea. El carácter multi-metodológico proporciona una comparación de resultados; no obstante, el uso exclusivo de métodos de observación directa hubiese limitado los resultados de la investigación al llevar a cabo un análisis aislado que no considera los TME producidos o que pueden llegar a desarrollarse. Además, la investigación incluye métodos no invasivos que son reproductibles y de bajo coste, por lo que pueden ser ampliamente replicados en este sector y/u otros sectores similares.

Las conclusiones de este estudio de caso demuestran que las actividades con un nivel de riesgo alto o crítico que aumentan las posibilidades de llegar a producir TME, forman parte de dos grupos: levantamiento y manipulación manual de cargas y, empuje y arrastre. Para llegar a esto, se han trazado los factores de riesgo, las lesiones registradas (principalmente, las relacionadas con la espalda), así como los signos de TME (es decir, como es el caso del dolor lumbar). Además, el análisis de lesiones y signos (identificados en la parte baja de la espalda, cuello y hombros) coinciden con los datos del sector de la construcción. La muestra de trabajadores (todos hombres por no haber mujeres en este edificio analizado) que han respondido al cuestionario revela que los factores de riesgo biomecánico afectan principalmente a la población con edades comprendidas entre 25-54 años, de manera que la exposición continuada de esta población a los factores de riesgo a medida que los trabajadores envejecen, se relaciona con una alta posibilidad de desarrollo de TME y enfermedades musculoesqueléticas.

Las herramientas informáticas aportan resultados detallados en comparación con otros métodos. El software complementa los métodos de observación directa y permite un análisis controlado. Así, se ha observado que el software ERGO/IBV aporta una evaluación similar en comparación con el métodos de observación directa. Además, se proporciona un inmediato chequeo de resultados de los métodos de observación directa que se recomiendan para mejorar el espacio laboral. Por otra parte, el software 3DSSPP aplicado en modelos humanos provee movimientos de simulación sobre la posición adaptada permitiendo, de esta forma, un exhaustivo y completo cálculo. Por lo tanto, en virtud de los resultados, este software debería previamente ser considerado en la revisión actividades con el fin de establecer medidas preventivas y correctivas a fin de mitigar o eliminar los riesgos.

Aunque en este edificio no trabajan mujeres (y también son una minoría en la construcción), la perspectiva de género e inclusiva resultaría de interés para este sector y otros (por ejemplo, agricultura), ya que la incidencia de TME también puede llegar a acentuarse en las trabajadoras.

Por una parte, los resultados comparativos demuestran que los estudios ergonómicos físicos (biomecánicos) en edificios en construcción deberían incluir todas las posibilidades de análisis de factores de riesgo físicos (biomecánicos) a fin de controlar y disminuir un posible desarrollo de los TME. Por otra parte, desde este edificio analizado los trastornos no deberían ser considerados como hechos aislados por su carácter multi-causal. En consecuencia, los resultados también indican que las actividades con puntuaciones de alto y crítico nivel de riesgo pueden deberse al uso de equipos y herramientas inadecuadas ergonómicamente. Los principales intereses de los avances tecnológicos han de preservar y promover la salud en el trabajo de este colectivo mediante la prevención de las actividades relacionadas principalmente con el levantamiento, la manipulación, el empuje y transporte de cargas, las posturas forzadas, posturas estáticas, la aplicación de fuerza y esfuerzo físico y, las actividades repetitivas.

REFERENCIAS

- [1] INSHT, Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. 2015 6ª EWCS – España. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2017, 134, NIPO (en línea): 272-17-019-4.
- [2] Wang, D., Dai, F., and Ning, X., "Risk assessment of work-related musculoskeletal disorders in construction: State-of-the-art review," *Journal of Construction Engineering and management*, 2015, vol. 141, p. 04015008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000979](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000979).
- [3] Nath, N. D., Akhavan, R., and Behzadan, A. H., "Ergonomic analysis of construction worker's body postures using wearable mobile sensors," *Applied Ergonomics*,

- 2017, vol. 62, pp. 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.02.007>.
- [4] Roja, Z., Kalkis, H., Reinholds, I., et al., "Ergonomics risk analysis in construction operations," *Agronomy Research*, 2016, vol. 14, pp. 211-219.
- [5] Chen, J., Qiu, J., and Ahn, C., "Construction worker's awkward posture recognition through supervised motion tensor decomposition," *Automation in Construction*, 2017, vol. 77, pp. 67-81. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.020>.
- [6] Vachhani, T. R., Sawant, S. K., and Pataskar, S., "Ergonomics Risk Assessment of Musculoskeletal Disorder on Construction Site," *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 2016, vol. 3, pp. 228-232.
- [7] Mathiassen, S. E. and Winkel, J., *Ergonomics in the continuous development of production system*. Stockholm: Malmö University and National Institute for Working Life, 2000, ISBN: 91-7045-557-0.
- [8] Malchaire, J. B. and Cock, N. A., "Risk prevention and control strategy for upper limb musculoskeletal disorders," *Newsletter of European Trade Union Technical Bureau for Health and Safety*, 1999, pp. 27-31.
- [9] Malchaire, J. B., Cook, N., and Vergracht, S., "Musculoskeletal Complaints, functional capacity, personality and psychosocial factors," *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2001, pp. 549-557. <https://doi.org/10.1007/s004200100264>.
- [10] Wilson, J. R., "Fundamentals of ergonomics in theory and practice," *Applied Ergonomics*, December 2000, vol. 31, pp. 557-567. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00034-X).
- [11] Buchholz, B., Paquet, V., Punnet, L., et al., "PATH: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work," *Applied Ergonomics*, 1996, vol. 27, pp. 177-187. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00078-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00078-X).
- [12] Paquet, V., "The previous ergonomic exposures in construction work," Sc.D. Dissertation, University of Massachusetts Lowell, Lowell, 1998.
- [13] Carpio-de-Los-Pinos, A.-J., Gonzalez-Garcia, M.-N., Moreu-de-la-Vega, C., et al., "Suitability and discrepancy of health and safety risk assessment methods applied to construction works," *DYNA*, 2017, vol. 92, pp. 214-219 DOI: <https://doi.org/10.6036/8201>.
- [14] Malchaire, J. B., «Évaluation et prévention des risques lombaires: Classification des méthodes», *Medecine de Travail & Ergonomie*, 2001, vol. XXXVIII, pp. 53-66.
- [15] McAtamney, L. and Hignett, S., "Rapid entire Body Assessment (REBA)," *Applied Ergonomics*, 2000, vol. 31, pp. 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3).
- [16] McAtamney, L. and Hignett, E. N., "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," *Applied Ergonomics*, 1993, vol. 24, pp. 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S).
- [17] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., et al., "Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms," *Applied Ergonomics*, 1987, vol. 18, pp. 233-237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X).
- [18] Borg, G., Borg's Perceived exertion and pain scales. Leeds: Champaign, IL: Human Kinetics, 1998, ISBN: 0-88011-623-4.
- [19] Bestraten Bellovi, M., Gil Fisa, A., and Piqué Ardanuy, T., "NTP 592: La gestión integral de los accidentes de trabajo (I): tratamiento documental e investigación de accidentes," *Notas Técnicas de Prevención*, 1999, pp. 1-8.
- [20] Render, B. and Heizer, J., *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación de México, 2004, ISBN: 9702605253
- [21] Meyers, F. E., *Estudios de tiempos y movimientos para la manufactura ágil*. México: Pearson Educación de México, 2000, ISBN: 968-444-468-0.
- [22] Gupta, P., *The Six Sigma performance handbook: a statistical guide to optimizing results*. McGraw Hill Professional, 2005, ISBN: 0071437649.
- [23] Instituto de Trabajo y Seguridad Social. ITSS, "7.2 Guía de Actuación Inspectoral en Factores Ergonómicos," in *7. Guía de Actuación Inspectoral en Factores Ergonómicos*, ed Madrid: ITSS, 2006,
- [24] Scott, G. B. and Lambe, N. R., "Working practices in a perchery system, using the OVAKO Working Analysing System (OWAS)," *Applied Ergonomics*, 1996, pp. 27, 281-284.
- [25] Kee, D. and Karwowski, W., "LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time," *Applied Ergonomics*, 2001, pp. 32, 357-366. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(01\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(01)00006-0).
- [26] Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud de España. Comisión de Salud Pública. CSP, *Protocolo de Neuropatías por Presión*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Sanidad y Consumo, 2000,
- [27] Armstrong, T. J., "A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders," *Scandinavian Journal Work and Environmental Health*, 1993, vol. 19, pp. 73-84. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1494>.
- [28] Swat, K., "Working posture analysis system to evaluate postural stress in the workplace," in *Ergonomics international 88: proceedings of the Tenth Congress of the International Ergonomics Association, 1-5 August 1988*, ed Sydney: Taylor & Francis, 1988, ISBN: 0850664756, 9780850664751.
- [29] Colombini, D., Grieco, A., and Occhipinti, E., "Occupational musculoskeletal disorders of the upper limbs due to mechanical overload," *Applied Ergonomics* (special issue), 1998, p. vol 41.
- [30] Moore, J. S. and Garg, A., "The Strain Index: A proposed method to analyze jobs," *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1995, vol. 56, pp. 443-458. <https://doi.org/10.1080/15428119591016863>.
- [31] Sperling, L., Dahlman, S., Wikström, L., et al., "A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements," *Applied Ergonomics*, 1993, vol. 24, pp. 212-220. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90009-X).
- [32] Health & Safety Executive. HSE, "Health & Safety Executive (HSE)," in *Assessment of Repetitive Tasks (ART) tool*, ed, 2010.
- [33] American Conference of Industrial Hygienists. ACGIH®, *Hand Activity Level: TLV® Physical Agents 7th Edition Documentation*. Cincinnati: ACGIH®, 2009,
- [34] Waters, T. R., Putz-Anderson, V., and Garg, A., "Application manuals for the revised NIOSH lifting equation DHHS (NIOSH)," *Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health Cincinnati*, 1994, pp. 94-110.
- [35] Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., et al., "Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks," *Ergonomics*, July 1993, vol. 36, pp. 749-776. <https://doi.org/10.1080/00140139308967940>.
- [36] Ciriello, V. M. and Snook, S. H., "Survey of Manual Handling Task," *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, pp. 23, 149-156. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(97\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(97)00032-2).
- [37] Ciriello, V. M., Snook, S. H., Hashemi, L., et al., "Distribution of manual materials handling task parameters," *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, pp. 24, 379-388. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(99\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(99)00005-0).
- [38] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. INSHT, *Guía para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la Manipulación manual de cargas*. Madrid: INSHT, 2003,
- [39] REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. Hrsg., *Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 1: Grundlagen*. München: Carl Hanser Verlag, 1984,
- [40] Senior Labour Inspectors Committee, S., "Campaign on Manual Handling of Loads," in *The KIM Tool - Key Indicator Method*, ed, 2008.
- [41] Health & Safety Executive. HSE, "Manual handling assessment chart (MAC) tool," in *Musculoskeletal disorders*, ed, 2003.
- [42] Arbouw Foundation, "Guidelines on Physical Workload for the Construction Industry," *Arbouw Foundation*, Amsterdam 1997.
- [43] Rodgers, S. H., "A functional job evaluation technique," in *Ergonomics*, *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*, 1992, vol. 7, pp. 679-711.
- [44] Dul, J., Douwes, M., and Smith, P., "Ergonomics guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on endurance data," *Ergonomics*, 1994, pp. 807-815. <https://doi.org/10.1080/00140139408963690>.
- [45] Miedma, M. C., Douwes, M., and Dul, J., "Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures," *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1997, pp. 9-18. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(95\)00037-2](https://doi.org/10.1016/0169-8141(95)00037-2).
- [46] Corlett, E. N., Madeley, S. J., and Manenica, I., "Posture Targeting: A Technique for Recording Working Postures," *Ergonomics*, March 3 1979, vol. 22, pp. 357-366. <https://doi.org/10.1080/00140137908924619>.
- [47] Jezukaitis, P. and Kapur, D., "Management of occupation-related musculoskeletal disorders," *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 2011, vol. 25, pp. 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2011.01.010>.
- [48] Antonsen, S., *Safety Culture: Theory, method and Improvement*. Surrey, England: Ashgate, 2009, ISBN: 1409486184, 9781409486183.
- [49] Borys, D., "The role of safe work method statements in the Australian construction industry," *Safe Science*, February 2012, vol. 50, pp. 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.010>.
- [50] Long, S., Bujac, P. D. B., Woodcock, D. C., et al., "Engineering line diagram development from process flowsheets: Part 1: Shortfalls in current practice," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2000, vol. 13, pp. 459-465. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00075-3](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00075-3).
- [51] Forde, M. S. and Buchholz, B., "Task content and physical ergonomic risk factors in construction ironwork," *Applied Ergonomics*, October 2004, vol. 34, pp. 319-333. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.04.011>.
- [52] Zorrilla-Muñoz, V. *Trastornos musculoesqueléticos de origen laboral en actividades mecánicas del sector de la construcción. Investigación mediante técnicas de observación directa, epidemiológicas y software de análisis biomecánico*. Tesis doctoral, 2012. Disponible en: <http://dehesa.unex.es/handle/10662/85/browse?value=Zorrilla+Mu%C3%B1oz%2C+Vanessa&type=author>

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero del VIII Premio de Investigación, Antonio Usero' (Tesis de la Dra. Zorrilla-Muñoz) galardonado bajo los auspicios del Ayuntamiento de Ferrol y la Universidad de A Coruña. También, nos gustaría dar las gracias a la Prof. Dra. María Teresa Miranda García-Cuevas, Prof. Dra. Irene Montero Puertas y Prof. Dr. Rafael Lorente Moreno (los tres de la Universidad de Badajoz), así como a participantes, organizadores/as y comités de los congresos donde este trabajo ha sido invitado: XX Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo de 2014 en Frankfurt, y XII Conferencia Internacional ORP'2014 de Prevención de Riesgos Laborales en Zaragoza, eventos en los que se expuso las versiones anteriores de este documento. Por último, queremos agradecer a los/as cuatro revisores/as anónimos/as y el editor de esta revista sus perspicaces comentarios y sugerencias que mejoraron sustancialmente esta contribución. Todos los errores nos nuestra responsabilidad.